

Светличный Н.Г., студент
Вайнштейн И.А., доц., канд. физ.-мат. наук
Зацепин А.Ф., доц., канд. техн. наук

ВЛИЯНИЕ ОКСИДА СВИНЦА НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГРАНИЦЫ ПРОЗРАЧНОСТИ НАТРИЕВО-СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

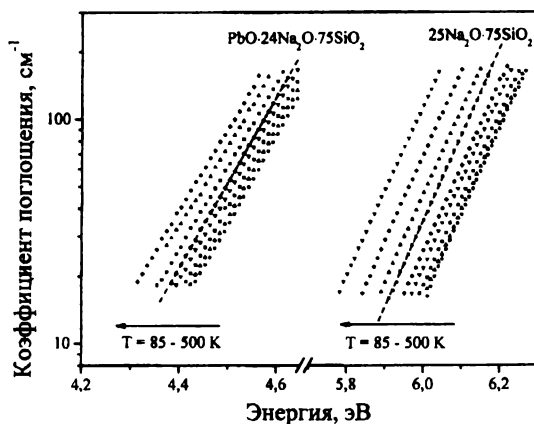
Щелочно-силикатные стекла представляют собой удобные модельные системы для изучения природы неупорядоченного состояния, и характеристик физико-химических свойств стеклообразных материалов. Они находят широкое практическое применение в качестве промышленной основы при создании современных оптических сред, в частности стекол класса кронов. В настоящей работе изучены эффекты влияния введения малых добавок оксида свинца на форму и поведение экспоненциального края собственного поглощения в щелочно-силикатных стеклах. Объекты исследования – образцы стекол $25\text{Na}_2\text{O} \cdot 75\text{SiO}_2$ и $\text{PbO} \cdot 24\text{Na}_2\text{O} \cdot 75\text{SiO}_2$ с поверхностями оптического качества. Все измерения выполнялись на спектрофотометре «Spekord-M40» с применением вакуумного криостата в интервале температур 80 – 500 К. В эксперименте исследовался УФ-спектральный диапазон 3.5 ÷ 6.2 эВ.

На рисунке приведены спектры оптического поглощения исследуемых стекол в области границы пропускания, измеренные при различных температурах. Видно, что введение PbO в щелочно-силикатную матрицу приводит к смещению границы прозрачности (≈ 1.5 эВ) в область более низких энергий. При этом с ростом температуры исследуемые спектры также смещаются в область более низких энергий без изменения наклона спектральных характеристик. Показано, что описанное температурное поведение подчиняется стеклообразному правилу Урбаха [1]:

$$\alpha(h\nu, T) = \alpha_g \exp\left(\frac{h\nu + A\langle n \rangle}{E_0}\right),$$

где $\alpha(h\nu, T)$ – коэффициент оптического поглощения, как функция энергии световых фотонов и температуры; α_g – температурно-независимая постоянная; $1/E_0 = \partial \ln \alpha / \partial h\nu$ – логарифмический наклон спектральной характеристики; A – параметр Фэна, зависящий от микроскопических свойств материала; $\langle n \rangle = [\exp(\hbar\omega/kT) - 1]^{-1}$ – фактор Бозе-Эйнштейна для фононов с энергией $\hbar\omega$. Отметим, что в стеклах параметр E_0 вводится в рамках модели «замороженных фононов», а его величина является мерой статического беспорядка, который присутствует в системе [1].

В рамках доминирования статического типа атомного разупорядочения были выполнены оценки параметров правила Урбаха для обоих стекол. Получено, что исследуемые образцы заметно различаются по значениям предэкспоненциальной постоянной и параметра Фэна. В то же время величины E_0 и $\hbar\omega$ меняются незначительно с добавлением оксида свинца.



Спектры оптического поглощения исследуемых стекол

Символы – эксперимент, штриховые линии – примеры аппроксимации в рамках стеклообразного правила Урбаха. Направление и пределы изменения температуры показаны на рисунке.

Обнаружено, что величина $E_0 = 0,113$ эВ для стекла $25\text{Na}_2\text{O} \cdot 75\text{SiO}_2$ остается постоянной во всем диапазоне температур, тогда как для $\text{PbO} \cdot 24\text{Na}_2\text{O} \cdot 75\text{SiO}_2$ наблюдается небольшой рост от $E_0 = 0,110$ эВ (при 85 К) до $E_0 = 0,120$ эВ (при $T = 500$ К). Кроме этого, исследуемые стекла различаются по характеру температурной зависимости ширины оптической щели. На основе соотношения Фэна [2] сделаны расчеты эффективной энергии фононов $\hbar\omega$, ответственных за смещение края собственного поглощения с ростом температуры. Показано, что в присутствии тяжелого модификатора Pb энергия $\hbar\omega$ смещается в низкочастотную область колебательного спектра.

Наблюдаемые закономерности обсуждаются в рамках теории неупорядоченного состояния с учетом принципа эквивалентности статического и динамического типов атомного беспорядка.

Работа выполнена в рамках проекта Уральского НОЦ «Перспективные материалы» (No.REC-005, грант ЕК-005-X1) и частично поддержана грантом РФФИ-Урал № 04-02-96067.

1. Weinstein I.A. Modified Urbach's rule and frozen phonons in glasses / I.A. Weinstein, A.F. Zatsepin // Phys. stat. sol. 2004. T. 1, No. 11, P. 2916 – 2919.
2. Weinstein I.A. The phonon-assisted shift of the energy levels of localized electron states in statically disordered solids / I.A. Weinstein, A.F. Zatsepin, Yu.V. Schapova // Physica B, 1999. T. 263-264, No. 1-4, P. 167 – 169.